

レーザ装置用放電電極の連結構造及びそれを備えたレーザ装置

発明の分野

本発明は放電励起レーザ装置に係り、特にレーザ装置における放電電極の連結構造、及びこの放電電極を備えたレーザ装置に関する。

発明の背景

従来から、放電電極間で放電を起こしてレーザ媒質を励起し、レーザ光を発振させる放電励起レーザ装置が知られており、例えば日本特開 1-268078 号公報に示されている。図 6 は、前記同公報に開示されたエキシマレーザ装置の構造を、図 7 は同公報に開示されたエキシマレーザ装置の放電電極構造を表している。

図 6、図 7 において、エキシマレーザ装置 101 は、レーザガス等のレーザ媒質を封止するレーザチャンバ 102 を備えている。レーザチャンバ 102 の内部には、アノード 105A 及びカソード 105B からなる一対の放電電極 105A、105B が、対向して配置されている。アノード 105A は導電性のアノードベース 106 に、カソード 105B は絶縁性のカソードベース 108 にそれぞれ固定されている。そして、アノード 105A とカソード 105B との間で放電を起こし、放電電極 105A、105B 間を流れる矢印 G で表されたレーザガスを励起し、レーザ光を発振させる。

放電電極 105A、105B の両側には、予備電離電極 118、118 がそれぞれ対向して配置されており、高圧電源から図示しない予備電離回路及び電流導入端子を介して高圧電流を供給され、予備電離を行なっている。

アノードベース 106 とカソードベース 108 とは、支柱 110 によって所定の間隔に支持されている。また、アノードベース 106 とレーザチャンバ 102 とは、放電電極の長手方向に所定の間隔をおいて並べられた複数のリターンプレート 109 によって、電氣的に接続されている。尚、図 7 には、リターンプレート 109 とレーザチャンバ 102 との接続箇所は、前記同公報においては、明確に図示されていない。リターンプレート 109 は導電性の板状部材からなってお

り、放電電極105A、105B間のレーザガスのガス流を妨げないように、ガス流に対して板厚の薄い部位109Aがガス流Gの上流及び下流に向くように、ガス流Gに平行に配設されている。

またレーザチャンバ102の内部には、放電電極105A、105B間にレーザガスを送り込む貫流ファン114と、放電電極105A、105B間で放電によって熱せられたレーザガスを冷却する熱交換器103とが、それぞれ所定位置に配置されている。

しかしながら、前記日本特開1-268078号公報に開示された従来技術には、次に述べるような問題がある。

即ち、従来技術においては、前記リターンプレート109を薄い板状として、レーザガスの抵抗を少なくしており、リターンプレート109の厚さが薄いほど、レーザガスのガス流Gを整流する整流効果が期待できるという記載がある。しかしながら、リターンプレート109を薄くし過ぎると、リターンプレート109がガス流Gによって振動し、かえってガス流Gを妨げて流速を低下させることが知られている。これにより、放電が不安定になり、レーザ光のパワーが変動する。また、リターンプレート109の厚さを薄くし過ぎると、リターンプレート109を流れる電流の抵抗が増加し、放電が好適に行なわれなくなる。

発明の概要

本発明は、かかる技術の問題点を解消するためになされたものであり、リターンプレートの厚さを最適な範囲としたレーザ装置用放電電極の連結構造、及びこれを用いたレーザ装置を提供することを目的としている。

上記の目的を達成するために本発明に係るレーザ装置用放電電極の連結構造は、レーザガスを封止するレーザチャンバの内部に対向して設けられ、放電を起こして間を流れるレーザガスを励起し、レーザ光を発振させる一対のアノード及びカソードと、アノードを保持する導電性のアノードベースと、カソードを保持する絶縁性のカソードベースと、アノードベースとレーザチャンバとを電氣的に連

結してアノードに電流を供給する厚さ $100\mu\text{m}$ 以上 $500\mu\text{m}$ 以下のリターンプレートとを備えている。

また、本発明に係るレーザ装置は、レーザガスを封止するレーザチャンバと、レーザチャンバ内に対向して設けられ、放電を起こして間を流れるレーザガスを励起し、レーザ光を発振させる一対のアノード及びカソードからなる放電電極と、アノードを保持する導電性のアノードベースと、カソードを保持する絶縁性のカソードベースと、アノードベースとレーザチャンバとを電氣的に連結してアノードに電流を供給するリターンプレートとを備え、

このリターンプレートの厚さを $100\mu\text{m}$ 以上 $500\mu\text{m}$ 以下とし、且つこのリターンプレートを、前記放電電極間を流れるレーザガスのガス流に対して略平行に配置する構成としている。

かかる構成により、リターンプレートの厚さを $500\mu\text{m}$ 以下と薄くして、これをガス流に対して平行に配置しているので、リターンプレートがアノードとカソードとの間を流れるレーザガスのガス流を邪魔することが少ない。さらに、リターンプレートの厚さを $100\mu\text{m}$ 以上としているので、リターンプレートが前記ガス流によって振動することがない。また、リターンプレートの厚さが、放電時にリターンプレートの表面を流れる高周波電流の進入深さよりも厚くしているので、電流の抵抗も増加せず、放電を好適に行なわせることが可能である。従って、放電が安定し、レーザ光のパワーが安定化する。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施形態に係る放電電極の連結構造を備えたレーザ装置の説明図である。

図2は、図1の2-2断面図である。

図3は、図2の3-3矢視図である。

図4は、リターンプレートの厚さとレーザガスの流速との関係を示すグラフである。

図5は、リターンプレートの厚さとレーザガスの流速の標準偏差との関係を示すグラフである。

図6は、従来技術に係る放電励起レーザ装置の構成を示す説明図である。

図7は、従来技術に係る放電電極の構成を示す斜視図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図を参照しながら、本発明に係る実施形態を詳細に説明する。

図1は、本実施形態に係るエキシマレーザ装置1の概略構成を示しており、図2は図1の2-2断面図、図3は図1のP部を図2の3-3矢視方向から見た断面図を示している。

図1～図3において、エキシマレーザ装置1は、レーザガス等のレーザ媒質を封止するレーザチャンバ2を備えている。レーザチャンバ2内部の所定位置には、アノード5A及びカソード5Bからなる一対の放電電極5A、5Bが、所定の間隔で対向して配置されている。エキシマレーザ装置1は、高圧電源13より図示しない放電回路を介して放電電極5A、5B間に高圧電流を印加して放電を起こし、レーザ媒質を励起してレーザ光を発振させる。

また、レーザチャンバ2の内部には、放電電極5A、5B間にレーザガスを送り込む貫流ファン14と、放電電極5A、5B間で放電によって熱せられたレーザガスを冷却する熱交換器3とが、それぞれ所定位置に配置されている。

尚、以下の説明において、放電電極5A、5Bの長手方向（図1における左右方向）及び放電電極5A、5Bの対向方向（図1における上下方向）の両方向に対して垂直な方向（図1における紙面に対して垂直な方向）を、奥行き方向と言う。また、電極の長手方向を長手方向、電極の対向方向を対向方向と言う。レーザガスは、貫流ファン14によって、奥行き方向に流れる。

レーザチャンバ2の上方にはチャンバ開口部4が設けられ、このチャンバ開口部4はセラミック等の絶縁体からなるカソードベース8によって塞がれている。レーザチャンバ2とカソードベース8との間には、Oリング11が介挿され、レーザガスを封止している。カソードベース8にはカソード5Bが固定され、カソード5Bとレーザチャンバ2とは、カソードベース8によって電氣的に絶縁され

ている。

カソードベース 8 の上方には、カソードベース 8 を貫通してカソード 5 B に到達する複数本の高圧給電ロッド 1 2 が、長手方向に所定間隔で配置されている。高圧給電ロッド 1 2 は、図示しない放電回路を介して高圧電源 1 3 の高圧側 HV に接続されており、これによってカソード 5 B へ放電のための高圧電流の供給が行なわれる。高圧給電ロッド 1 2 とカソードベース 8 との間は、図示しない O リングによって封止されている。

レーザチャンバ 2 のチャンバ開口部 4 近傍の内壁下部には、長手方向に所定間隔をおいて、厚さ t を有する板状導電体からなる複数のリターンプレート 9 の上部が、ボルト 2 0 A によって固定されている。リターンプレート 9 の下部には、導電体のアノードベース 6 がボルト 2 0 B によって固定され、アノードベース 6 の上部にはアノード 5 A が搭載されている。レーザチャンバ 2 は、図示しない放電回路を介して高圧電源 1 3 の接地側 GND に接続され、アノード 5 A もリターンプレート 9 を介してレーザチャンバ 2 と同電位となっている。

アノード 5 A の奥行き方向両側方には、長手方向に沿って予備電離電極 1 8, 1 8 が配置されている。予備電離電極 1 8 は、導電体部 1 8 A と、導電体部 1 8 A の外周を覆う絶縁体部 1 8 B とを備えている。レーザチャンバ 2 の長手方向両端部には、絶縁体からなる給電絶縁部材 2 1 が貫通しており、給電絶縁部材 2 1 の内部には、導電体からなる予備給電ロッド 1 5 が貫通している。レーザチャンバ 2 と給電絶縁部材 2 1 との間、及び給電絶縁部材 2 1 と予備給電ロッド 1 5 との間は、いずれも図示しない O リングによって封止されている。予備電離電極 1 8 の導電体部 1 8 A と予備給電ロッド 1 5 とは給電絶縁部材 2 1 の内部で電氣的に接続されている。予備給電ロッド 1 5 には、図示しない予備電離回路を介して高圧電源 1 3 の高圧側 HV が接続され、予備電離電極 1 8 に高圧電流を供給している。

上述したように、リターンプレート 9 は厚さ t の薄い板状の導電体で構成されており、幅の狭い側を奥行き方向に向けてレーザガスのガス流 G に対して平行に配置されている。これにより、リターンプレート 9 がガス流 G に与える抵抗を小さくし、ガス流 G の乱れを最小限にしている。以下に、リターンプレート 9 の厚

さ t の最適値を、計算及び実験によって求めた結果を示す。

高周波電流は金属の表面を流れ、周波数が高くなればなるほど電流が金属内部に進入する深さは浅くなることが知られている。電流が金属内部に進入する進入深さを δ とすると、進入深さ δ は、次の数式 (1) で表される。

$$\delta = (2 / \omega \cdot \mu \cdot \sigma)^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

上記の数式 (1) において、 ω は高周波電流の周波数を角振動数で表したものであり、 μ はリターンプレート 9 の材質金属の透磁率であり、 σ はリターンプレート 9 の材質金属の導電度である。

リターンプレート 9 の材質としては、レーザガスに対して耐腐食性があり、かつ電気伝導度の高いニッケルや銅が望ましい。これらの透磁率 μ は、いずれもほぼ真空の透磁率に等しく、 $4\pi \times 10^{-5} \text{H/m}$ である。また、銅における導電度 σ は、 $5.88 \times 10^7 \Omega \cdot \text{m}$ であり、ニッケルにおける導電度 σ は、 $1.35 \times 10^7 \Omega \cdot \text{m}$ である。

エキシマレーザ装置の放電を例にとると、放電時の電流周波数は、ほぼ 30 MHz となる。従って、数式 (1) より、銅において高周波電流が到達する進入深さ δ は、約 $1.2 \mu\text{m}$ となる。また、ニッケルにおける進入深さ δ は、約 $2.5 \mu\text{m}$ となる。このような高周波電流の進入は、板状のリターンプレート 9 の表裏両面に対して起きるので、リターンプレート 9 の厚さ t は、銅の場合には $2.4 \mu\text{m}$ 以上、ニッケルの場合には $5.0 \mu\text{m}$ 以上であればよい。

また、例えば放電電流に、立ち上がりが遅い成分が混じっていたとしても、例えば放電時の電流周波数が 1 MHz と仮定すれば、進入深さ δ は銅の場合で約 $6.6 \mu\text{m}$ 、ニッケルの場合で約 $13.7 \mu\text{m}$ となる。従って、リターンプレート 9 の厚さ t は、銅の場合には $13.2 \mu\text{m}$ 以上、ニッケルの場合には $27.4 \mu\text{m}$ 以上であればよい。

次に、リターンプレート 9 がレーザガスの流れに及ぼす影響について調べた結果を示す。

まず、リターンプレート 9 の厚さ t の下限値について調べるため、リターンプレート 9 によってアノードベース 6 とレーザチャンバ 2 とを連結し、貫流ファン 14 を駆動して放電電極 5 A, 5 B 間にレーザガスを流した。その結果、リター

ンプレート 9 の厚さ t が $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上であれば、リターンプレート 9 が振動しないということが判明した。厚さ t が $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上であれば、高周波電流の進入深さよりも厚くなるため、リターンプレート 9 の厚さ t の下限値は、 $100\text{ }\mu\text{m}$ とすればよい。

次に、リターンプレート 9 の厚さ t の上限値についての実験結果を説明する。

図 4、図 5 に、リターンプレート 9 の厚さ t とレーザガスの流速との関係の実験結果を、グラフで示す。図 4、図 5 において、横軸は放電電極 5 A, 5 B の長手方向中央部からの距離 L であり、 $L=0\sim L_2$ が放電電極 5 A, 5 B が存在する範囲を、 $L=0\sim L_1$ が放電電極 5 A, 5 B 間で放電が起きる放電領域を、それぞれ示している。図 4 における縦軸は、各測定地点における流速 V である。また図 5 において、縦軸は各測定地点における 1 秒間の流速 V (1 ms サンプルング) の標準偏差 σ を示している。即ち図 5 においては、標準偏差 σ が小さいほど流速 V の時間的な変動が小さくなっている。

図 4、図 5 において、■印でプロットしたデータ群 F 1, F 1 は、それぞれ厚さ $t=1\text{ mm}$ のリターンプレート 9 を用いた場合の流速 V 及び標準偏差 σ である。また、×印でプロットしたデータ群 F 2, F 2 は、それぞれ厚さ $t=500\text{ }\mu\text{m}$ のリターンプレート 9 を用いた場合の流速 V 及び標準偏差 σ である。図 4、図 5 に示すように、厚さ t を $500\text{ }\mu\text{m}$ としたことにより、厚さ t が 1 mm の場合に比べて放電電極 5 A, 5 B 端部で流速 V が大きく、かつ時間変動が小さなガス流 G が得られていることがわかる。

以上説明したように本実施形態によれば、リターンプレート 9 の厚さ t を $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $500\text{ }\mu\text{m}$ 以下としている。リターンプレート 9 の厚さ t を $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上とすることにより、リターンプレート 9 が高周波電流の進入深さよりも厚くなっているため、リターンプレート 9 を流れる電流の抵抗が増加するということがない。従って、高周波電流がリターンプレート 9 を好適に流れ、安定な放電が行なえる。また、リターンプレート 9 がレーザガスによって力を受けて振動するということが少なく、レーザガスの流れが妨げられずに安定な放電が行なえる。

さらに、リターンプレート 9 の厚さ t を $500\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることで、これまでの厚さ $t=1\text{ mm}$ に比較して、レーザガスの流速 V の乱れが少なくなるとともに

✓

請求の範囲

1. レーザガスを封止するレーザチャンバの内部に対向して設けられ、放電を起こして間を流れるレーザガスを励起し、レーザ光を発振させる一対のアノード及びカソードと、

このアノードを保持する導電性のアノードベースと、

このカソードを保持する絶縁性のカソードベースと、

このアノードベースと前記レーザチャンバとを電氣的に連結してこのアノードに電流を供給する厚さ $100\mu\text{m}$ 以上 $500\mu\text{m}$ 以下のリターンプレートとを、

備えることを特徴とするレーザ装置用放電電極の連結構造。

2. レーザガスを封止するレーザチャンバと、

このレーザチャンバ内に対向して設けられ、放電を起こして間を流れるレーザガスを励起し、レーザ光を発振させる一対のアノード及びカソードからなる放電電極と、

このアノードを保持する導電性のアノードベースと、

このカソードを保持する絶縁性のカソードベースと、

このアノードベースと前記レーザチャンバとを電氣的に連結してこのアノードに電流を供給するリターンプレートとを備え、

このリターンプレートの厚さ(t)を $100\mu\text{m}$ 以上 $500\mu\text{m}$ 以下とし、且つこのリターンプレートを、前記放電電極間を流れるレーザガスのガス流に対して略平行に配置することを特徴とするレーザ装置。

要 約

リターンプレートの厚さを最適な範囲としたレーザ装置用放電電極の連結構造、及びこれを用いたレーザ装置である。このために、レーザガスを封止するレーザチャンバ(2)と、このレーザチャンバ内に対向して設けられ、放電を起こして間を流れるレーザガスを励起し、レーザ光を発振させる一対のアノード(5A)及びカソード(5B)と、このアノードを保持する導電性のアノードベース(6)と、このカソードを保持する絶縁性のカソードベース(8)と、このアノードベースとレーザチャンバとを電氣的に連結してこのアノードに電流を供給するリターンプレート(9)とを備えている。このリターンプレートの厚さ(t)を100 μm 以上500 μm 以下とし、且つリターンプレートを放電電極間を流れるレーザガスのガス流に対して略平行に配置している。